

Estimaciones de edad de árboles viejos a través de curvas de crecimiento

Sanchez, J; Fernandez-Cancio, A.;Vallejo, R.; Ruiz, L.; Dominguez-Lerena, S.;
Proyecto Arboles, Leyendas Vivas-Bosques Sin Fronteras
bsf@bosquessinfronteras.org

Introducción

El conocimiento, con cierta exactitud, de la edad biológica de un árbol ayuda a percibir mejor sus necesidades y a actuar en consecuencia, realizando tratamientos adecuados a su edad. Ésta es utilizada en las evaluaciones del crecimiento y la productividad de un sitio y desde este punto de vista, es esencial cuando se consideran planes de ordenación forestal. Además, los estudios de crecimiento aportan información adicional sobre la vida del árbol.

En nuestro país existen más de 3.627 árboles singulares de 135 especies diferentes. Estos árboles singulares, monumentales o notables, destacan, tanto en espacios naturales como urbanos, por determinadas características como dimensiones excepcionales muy poco habituales, formas extrañas o curiosas, por estar ligados a la historia o a leyendas populares, o por su avanzada edad que, muchas veces, resulta difícil de determinar.

Uno de los métodos que suele indicar, con mayor precisión, la edad de un árbol es el método del barrenado mediante el conteo de los anillos de crecimiento. Sin embargo, esta técnica no siempre puede llevarse a cabo debido a la naturaleza del leño. En otros casos, resulta imposible la extracción de muestras debido a que los individuos estudiados se encuentran huecos o podridos, o simplemente el conteo de anillos resulta casi imposible. Por ello, la necesidad de crear modelos de crecimiento que permitan determinar con una cierta aproximación la edad de los individuos estudiados.

En la actualidad, no existen modelos de crecimiento que caractericen los incrementos de diámetros a lo largo del ciclo de vida de las especies arbóreas, a pesar de haber habido varios intentos para dar solución a esa problemática aplicando teorías y

fórmulas matemáticas sin considerar la técnica de los anillos de crecimiento (Parde, 1961).

Cuando el método del barrenado no resulta factible, una de las mediciones con la que se puede trabajar es el diámetro.

El principal objetivo de este estudio es determinar la relación entre el diámetro y la edad en determinadas especies forestales españolas, mediante la búsqueda de un modelo que permita predecir el crecimiento promedio de las distintas especies que aquí se tratan en función de su diámetro, y utilizando este dato, su edad. De forma que sirva para datar árboles y, en particular, los singulares.

Los modelos de crecimiento relacionados con el diámetro se han realizado para algunas especies como el abedul, el alcornoque, la encina, el madroño, el quejigo, el castaño, el haya, el pino piñonero, el roble y el roble albar.

Material y Métodos

Una alternativa práctica a la problemática de la determinación de la edad, en las especies forestales españolas, es la aplicación de un modelo que relacione la edad con otros parámetros de fácil determinación como el diámetro. Y a partir de ahí, poder inferir la edad de las masas forestales o de los árboles independientemente. Para ello, se recopilaron las bases de datos del Segundo Inventario Forestal Nacional (IFN2) 1986-1996 y del Tercer Inventario Forestal Nacional IFN3 1997-2007 procedentes de la Dirección General de Medio Natural y Política Forestal del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM).

Como los años transcurridos entre los inventarios en cada Comunidad Autónoma diferían, se tomó el dato del crecimiento anual como elemento unificador. Por lo que para determinar los incrementos anuales en diámetro (crecimiento), de cada uno de los árboles, se tomó el cociente de cada promedio diametral entre el número de años transcurridos en los inventarios.

Después, se estratificaron los datos en función de clases diamétricas con el fin de obtener una mejor estimación de los modelos de crecimiento.

Los datos de cada especie se analizaron de forma global y por clases diamétricas mediante el paquete estadístico SPSS 11.0 para obtener una

caracterización de las muestras. Para poder continuar con posteriores análisis se contrastaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Y, en cada caso, se realizaron pruebas de inferencia estadística paramétrica y no paramétrica, que permitieran detectar diferencias entre clases diamétricas.

Con el fin de determinar el modelo más ajustado al crecimiento anual y las clases diamétricas para cada especie, se realizaron diferentes pruebas con distintos modelos estadísticos. (Tabla 1). El ajuste de los resultados obtenidos a diferentes modelos se ha realizado utilizando el programa STATISTICA 6.0. Éste permite el análisis de los datos obtenidos de una forma mucho más concreta y con modelos más complejos, que el SPSS, que pueden arrojar resultados más precisos.

Las curvas de crecimiento obtenidas debían asemejarse a la curva sigmoidea (Fig1) a la que teóricamente se acerca la variable crecimiento en cualquier especie arbórea. Esta curva tiene un crecimiento inicial lento, seguido de una fase de crecimiento acelerada, otra etapa en que ese crecimiento se desacelera gradualmente, hasta que el organismo deja de crecer, permanece de un mismo tamaño durante algún tiempo y finalmente muere. Hecho que viene determinado por la naturaleza genética del organismo y de sus limitaciones ambientales. (Davis y Johnson, 1987; Ramírez y Zepeda, 1994).



Figura 1: Curva de crecimiento de la población y efecto de la resistencia ambiental.

(http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000088/lecciones/seccion1/capitulo02/tema02/01_02_02.htm)

De acuerdo con Zeide (1993), el crecimiento resulta de la interacción de dos fuerzas opositoras: un componente positivo manifestado por la expansión de un organismo que tiende hacia la multiplicación exponencial, este componente está asociado con el metabolismo constructivo o anabolismo. Un componente opositor que representa las restricciones impuestas por factores externos como la competencia por recursos, respiración, estrés, es decir el catabolismo.

Como los datos no se ajustaban a una curva asintótica, se recurrió al estudio acumulado de los datos utilizados, es decir, ampliar la metodología aplicada al estudio de las Clases Diamétricas al Cuadrado, cuya distribución mostraba modelos, en muchos casos, más concretos y ajustados.

Por esto, se tendrán en cuenta varios modelos de crecimiento no lineales que permitan el ajuste de nuestros datos.

Los modelos utilizados han sido los siguientes (Calvo Haro, R. et al, 1994):

MODELOS ASINTÓTICOS CON PUNTO DE INFLEXIÓN	
Logístico	$y = \frac{K}{(1 + b e^{-ax})}$
Gompertz	$y = K b^{-c b^{-x}}$
Weibull	$y = K [1 - \exp(-ax^b)], b > 1, a > 0$
Richards	$y = \frac{K}{(a + e^{b-cx})}$
MODELOS ASINTÓTICOS SIN PUNTO DE INFLEXIÓN	
Brody	$y = k - (k - y_0) \exp(-Ax)$
Michaelis-Menten	$y = \frac{Kx}{C + x}$
Monomolecular	$y = K [1 - \exp(-Ax)]$
Exponencial	$y = y_0 \exp(Ax)$
Alométrico	$y = C x^B$
Schumacher(González López, H.. y Flores López, C.)	$y = e^{(a + b/x)}$

Donde:

- a, b y c, parámetros que definen la expresión matemática de la curva.
- k, valor asintótico de la curva o valor máximo que puede alcanzar la curva.

El modelo que presente mayor R^2 será el más adecuado ($0 \leq R^2 \leq 1$).

Sin embargo, aunque los valores de R^2 puedan dar una idea de la calidad del ajuste del modelo a los datos, se han tenido en cuenta dos criterios:

1. Analizar la normalidad de los residuos para comprobar su distribución al azar. Criterio de gran importancia en ajustes no lineales y, aunque ningún modelo los distribuya aleatoriamente, se encuentra aquél que mejor los distribuya al azar.
2. Una vez que encontrados los modelos con mejor distribución se busca aquellos que tengan el menor valor tras la aplicación de la siguiente fórmula (FERNÁNDEZ CANCIO, A. 1998.):

$$\frac{\Sigma(X_i - X_{media})^2}{N^{\circ} \text{ datos} - N^{\circ} \text{ parámetros modelo}} \quad \text{Ec.}$$

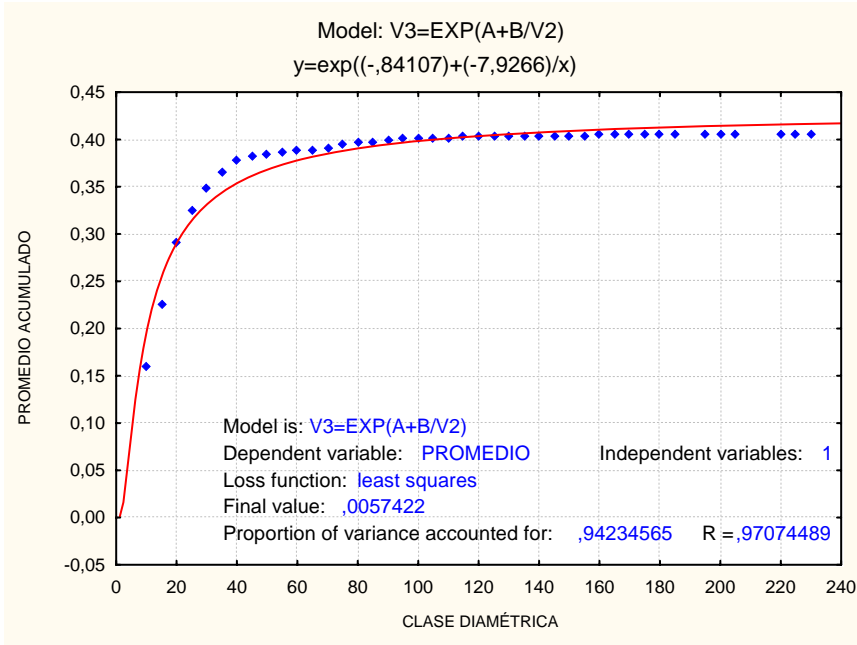
O lo que es lo mismo, sumar los cuadrados de las distancias de cada dato a la media (resultado de la sustitución de x en el modelo) y dividir por la diferencia del número de datos menos el número de parámetros del modelo.

La fórmula correspondiente a cada modelo quedará definida por.

- Y= Promedio de Crecimiento Acumulado.
- X= Marca de Clase o Marca de Clase al Cuadrado.

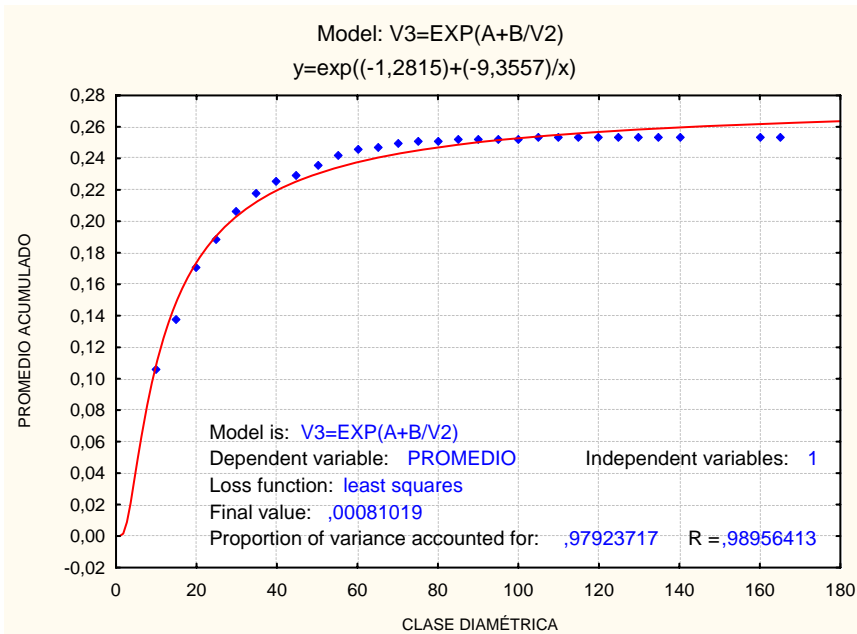
Resultados y Discusión

Castanea sativa (Castaño), 5817 registros



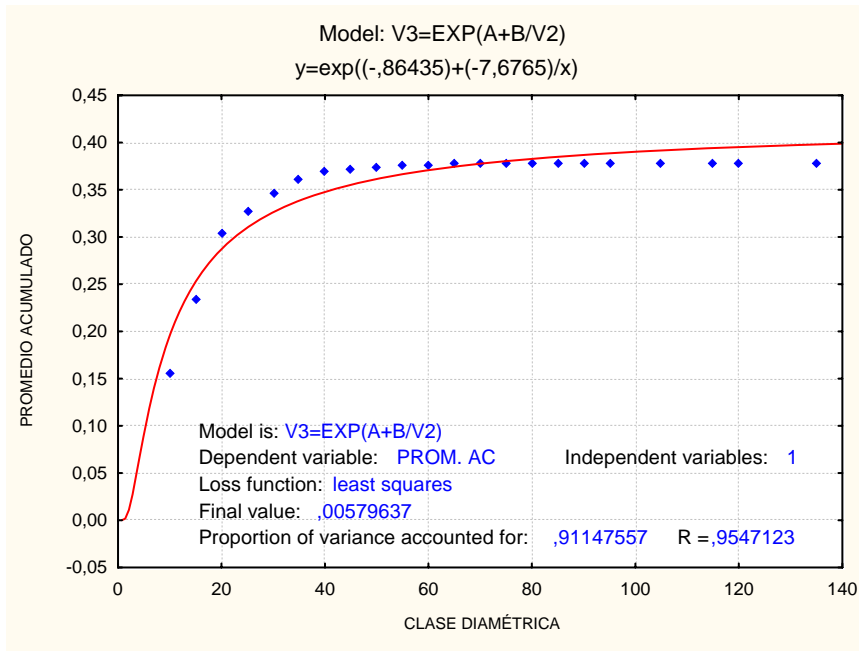
El Castaño de Rozabales (Galicia)
Rozabales- Manzaneda (Ourense)
Pn: 12.38 m
Edad calculada: 800-1000 años
Edad aproximada: 932.3 años

Fagus sylvatica (Haya), 22325 registros



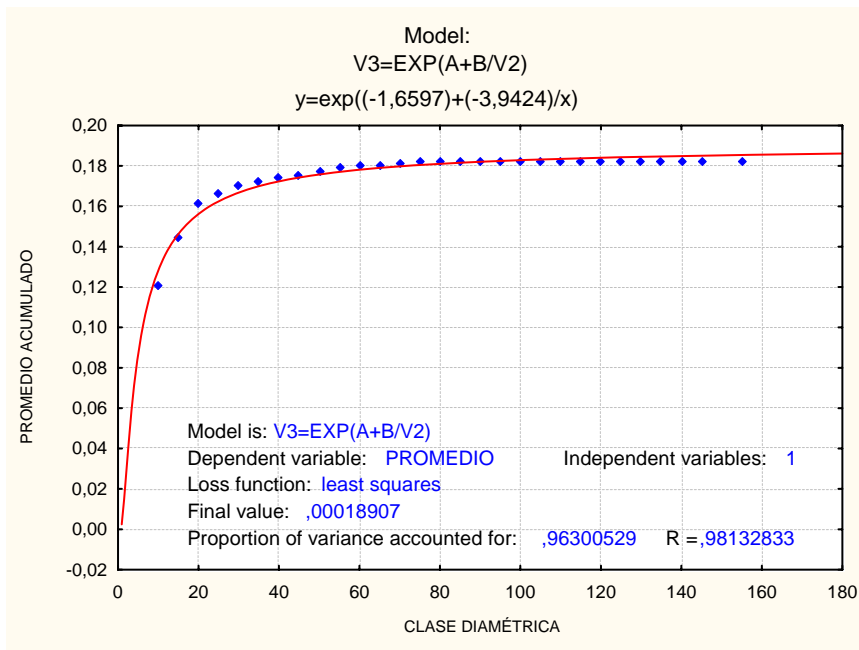
El Haya Fagus (Castilla y León)
Ciñera (León)
Edad calculada: 495 años
Edad aproximada: 654.07 años

***Pinus pinea* (Pino piñonero), 18583 registros**



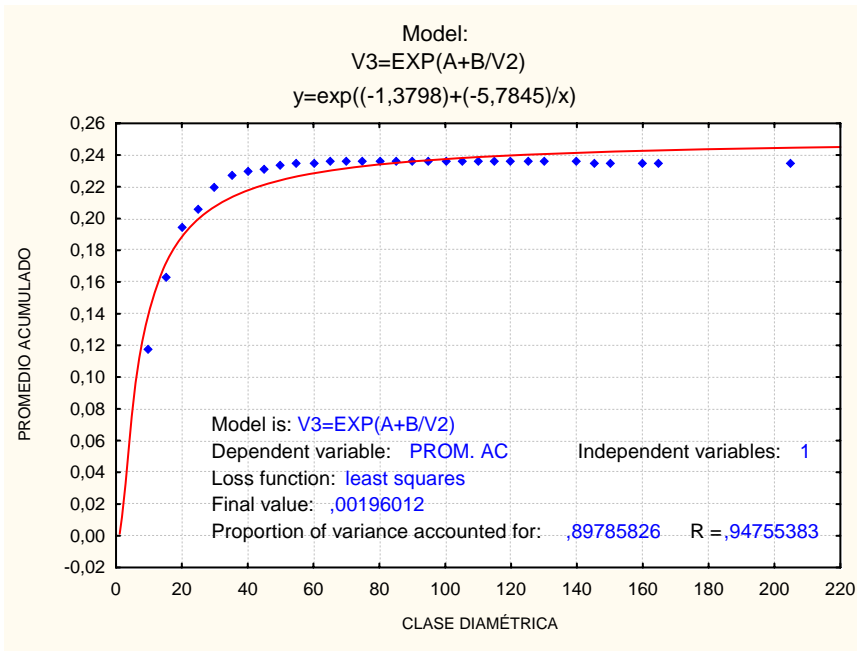
El Pino de Santi (Madrid)
 Edad calculada: 469 años
 Edad aproximada: 524 años

***Quercus ilex* (Encina), 58800 registros**



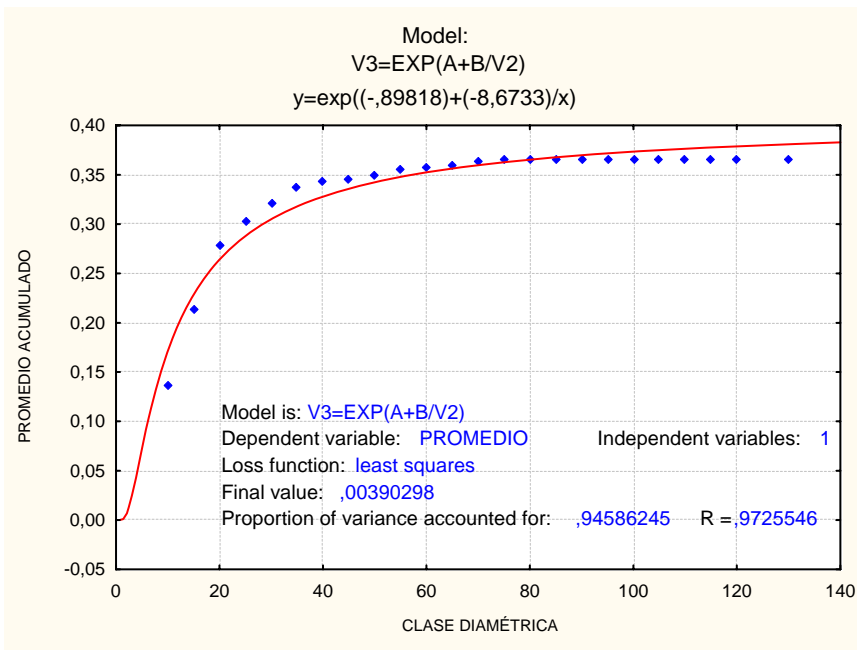
El Encino de las Tres Patas
 Mendaza (Navarra)
 Edad aproximada: 1309.29 años

Quercus petraea (Roble albar), 4639 registros



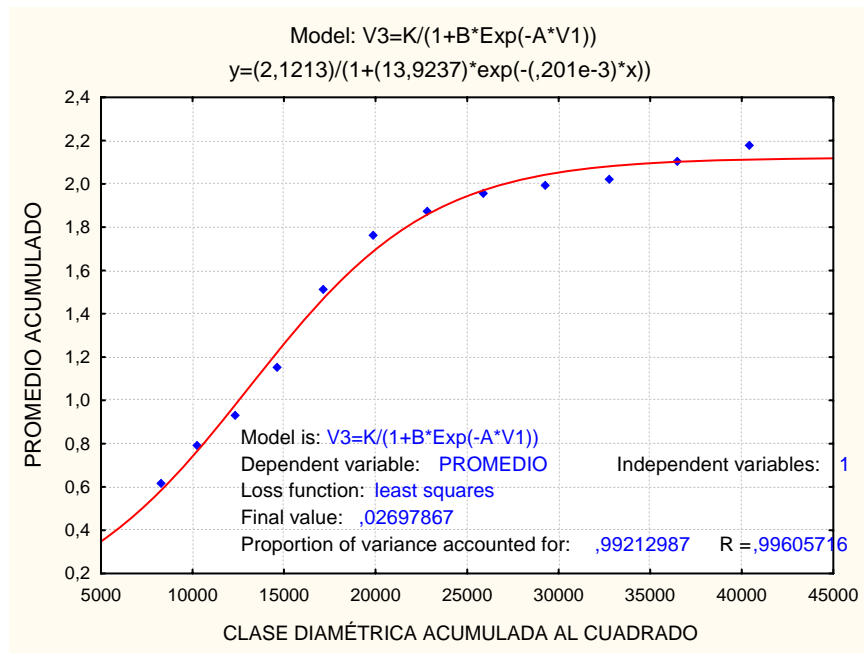
El Roblón de Estalaya
Cervera de Pisuerga (Palencia)
Edad aproximada: 1078.27 años

Quercus robur (Roble), 9834 registros

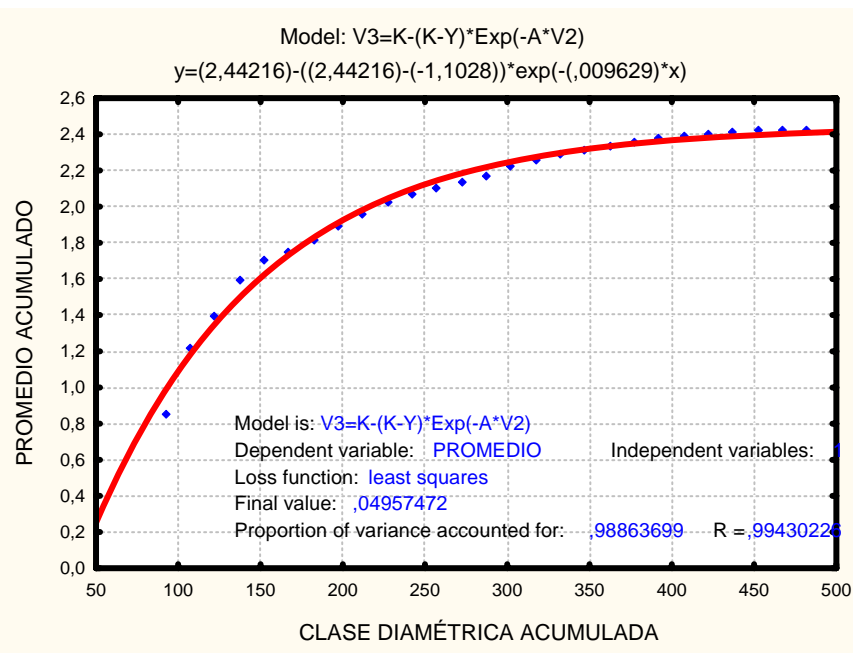


La Cajiga de Santillana del Mar
(Cantabria)
Edad calculada: 479 años
Edad aproximada: 516.64 años

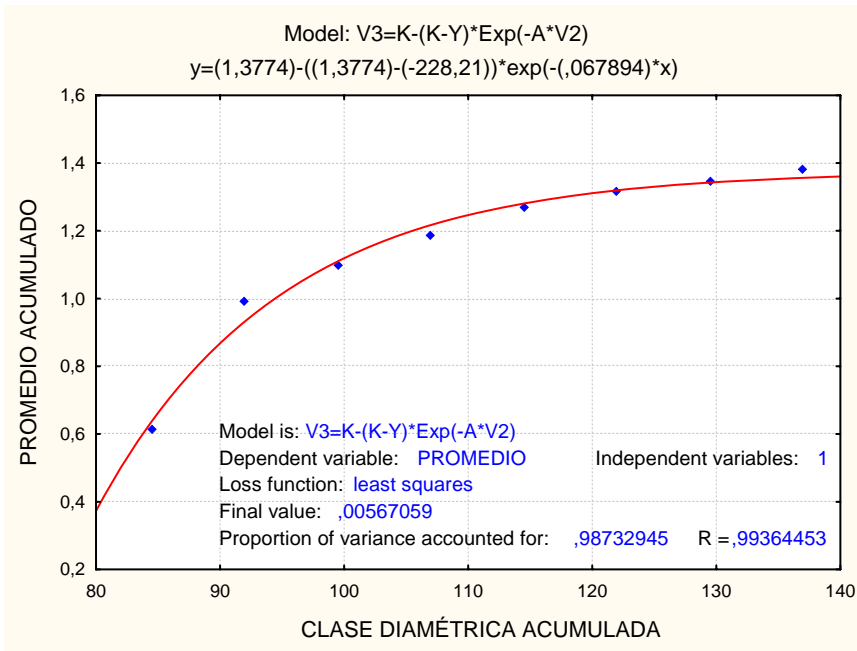
Betula pendula (Abedul), 316 registros



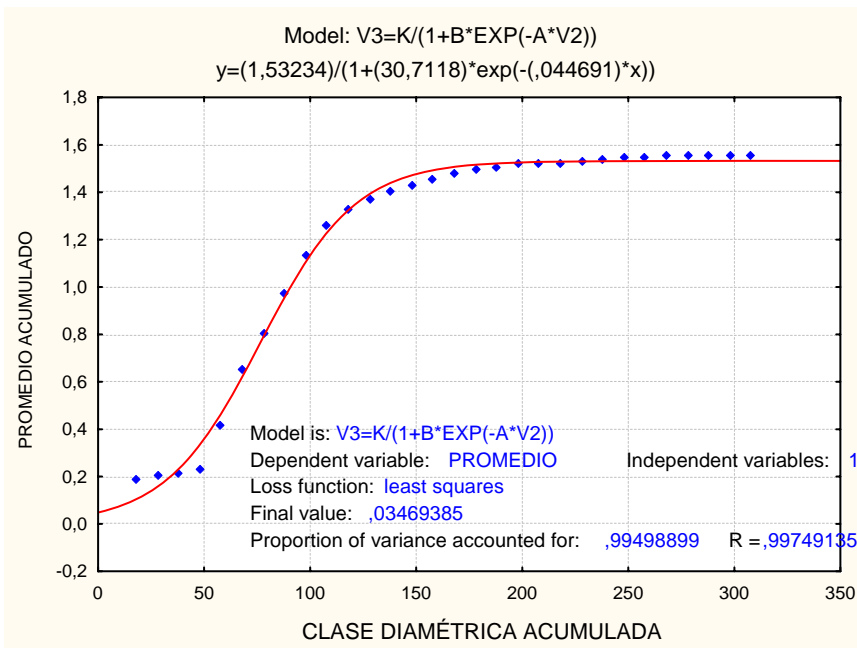
Quercus suber (Alcornoque), 9283 registros



Arbutus unedo (Madroño)



Quercus faginea (Quejigo)



La posibilidad de conocer o estimar la edad de los árboles permite hoy en día contar con sólidos fundamentos de interpretación en las ciencias forestales, como la ecología y son imprescindibles para aplicar actividades silviculturales y efectuar un aprovechamiento sostenible, así como para estudiar la dinámica de poblaciones vegetales y la productividad de los ecosistemas. Para este propósito, conocer la edad como un parámetro medible, se transforma en una herramienta de decisión de apreciable valor. (Imaña E., J. y Encinas B., O., 2008).

En todos los modelos realizados en este estudio se puede observar que la curva de crecimiento presenta un mayor incremento en las clases diamétricas inferiores con tendencia a un estancamiento en las clases más altas. Analizando la curva de crecimiento sería posible identificar nítidamente dos de las tres fases definidas: Su identificación en el gráfico se hace en base a los puntos de inflexión de la curva, o sea, cuando hay modificación en el ritmo del crecimiento. El comportamiento de cada una de las variables dendrométricas del árbol no siempre sigue con rigor la tendencia de la curva en S, una vez que las proporciones relativas de esas variables depender de la especie, sitio y demás factores ambientales. Es decir la tasa específica de crecimiento declina más y más lentamente a medida que el organismo aumenta en edad. (Imaña E., J. y Encinas B., O., 2008).

Como ya se ha comentado, los resultados obtenidos en los gráficos de las diferentes especies de este estudio no se ajustan totalmente a la curva sigmoide característica de los estudios de crecimiento. Una posible explicación de este hecho podría ser que en los inventarios forestales no se incluyan los individuos jóvenes, que conformarían la primera parte de la curva. De hecho, no están incluidos los PIES MENORES, es decir, aquellos cuyo “dn” esté comprendido en el intervalo $2,5 \text{ cm.} \leq \text{dn} < 7,5 \text{ cm.}$

No obstante, en todos los modelos puede observarse una tendencia de las clases diamétricas hacia la asíntota, a medida que van aumentando en tamaño, como ocurre en la curva sigmoidea esperada.

Para la aplicación de los modelos construidos sólo es necesario conocer la clase diamétrica del árbol cuya edad se quiera conocer y sustituir ésta en la fórmula que acompaña a cada gráfico, obteniendo el Promedio de Crecimiento Acumulado, es decir, la media del crecimiento anual de la especie a lo largo de su vida. Después, se tendría que dividir el diámetro del individuo entre el valor del promedio para conocer la

EDAD APROXIMADA (edad obtenida tras la realización de estimaciones de crecimiento, mediante datos sacados de bibliografía y del IFN).

Si buscamos la validación del modelo, mediante la comparación de algunos árboles en los que su edad es conocida mediante métodos fiables, observamos que existen variaciones en cuanto a la edad, en algunos casos, casi inapreciables como es el caso del pino piñonero (*Pinus pinea*) conocido como el Pino de Santi en donde se plantean diferencias de 55 años en un entorno de más de 500 o el caso del *Quercus petraea* conocido como La Cajiga de Santillana cuya diferencia de edad entre el método de barrenado y el calculado mediante curvas es de tan solo 37 años. Se demuestra de esta manera que no es un método en modo alguno preciso pero sirve, para algunas especies, para cuantificar de forma más o menos cercana la edad del árbol. En el caso de especies en las que se han hecho las estimaciones con pocos datos, como el madroño y el abedul, los resultados pueden presentar más margen de error. En todo caso, se deberán hacer pruebas con algunos árboles en los que la edad es conocida antes de aplicar las curvas a los ejemplares en los que se desea conocer la edad de una forma más precisa.

Bibliografía

- ✓ **Allué, J.L.**, 1990. Atlas Fitoclimático de España. Taxonomías. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 221 pp.
- ✓ **Ajbilou, R., Marañón, T. y Arroyo, J.** 2003. Distribución de clases diamétricas y conservación de bosques en el norte de Marruecos. Invest. Agrar.: Sist. Recur. For. 12 (2),111-123.([http://www.inia.es/gcontrec/pub/111-123-\(750S-Distribucion_1059569877234.pdf\)](http://www.inia.es/gcontrec/pub/111-123-(750S-Distribucion_1059569877234.pdf))
- ✓ **Calvo Haro, R, et al.** 1994. Manual de modelos no lineales en los ámbitos agronómico, ganadero y forestal. INIA. Publicaciones del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 1994.
- ✓ **Caritat, A., Molinas, M. L, Oliva M.**, 1991. Estructura y crecimiento del alcornocal gerundense. Studia Oecologica 8, 159-170.

- ✓ **Costa, A., Pereira, H. & Oliveira, A.** 2002. Influence of climate on the seasonality of radial growth of Cork oak during a cork production cycle. *Annals of Forest Science*.59, 429 – 437.
- ✓ **Clutter J. Forston J., Penaar L., Brister G. y Bailey R.** 1983 “Timber management: a quantitative approach”. New York: Jhon Wiley & Sons. 333 pp.
- ✓ **Davis S.L. y Johnson K. N.** 1987. “Forest Management”. Third edition. McGraw-Hill. New York. 730 pp.
- ✓ **Imaña E., J. y Encinas B., O.** 2008. *Epidometria Forestal*.
 Brasilia: Universidade de Brasilia, Departamento de Engenharia Forestal
 Mérida: Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales.
 72 p.; II 15,5 x 22 cm. ISBN 978-85-87599-31-5
 (<http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/epidometria-forestal/epidometria-forestal.pdf>)
- ✓ **Parde, J.** 1961. *Dendrometrie*. Nancy, França: Imprimiere Louis-Jean. 351 p.
- ✓ **Ramírez M.H. y M. Zepeda B.** 1994 “Rendimientos maderables de especies forestales; actualidades en México”. In: IV Reunión Nacional de Plantaciones Forestales. SF y de FS/INIFAP. México, D.F. s/p.
- ✓ **Solomon D, S., Gove J., H.,** 1999. Effects of uneven-age management intensity on structural diversity in two major forest types in New England. *Forest Ecol Manag* 114, 265-274.
- ✓ **Zeide B.** 1993 “Analisis of growth ecuations”. *For. Sci.* 39(3):594-616.

Webgrafía

- ✓ http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000088/lecciones/seccion1/capitulo02/tema02/01_02_02.htm
- ✓ <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/dasometria/contenidos-ocw-2008/dendrometria/Tema7>.